



Tecnologie digitali per il suono e l'immagine 2020/21

Vincenzo Lombardo
Corso di Laurea in DAMS
Università di Torino

Mutuato in parte da Elaborazione audio e musica
(Laurea Magistrale di Informatica)

Musica e MIDI

Musical Instrument Digital Interface



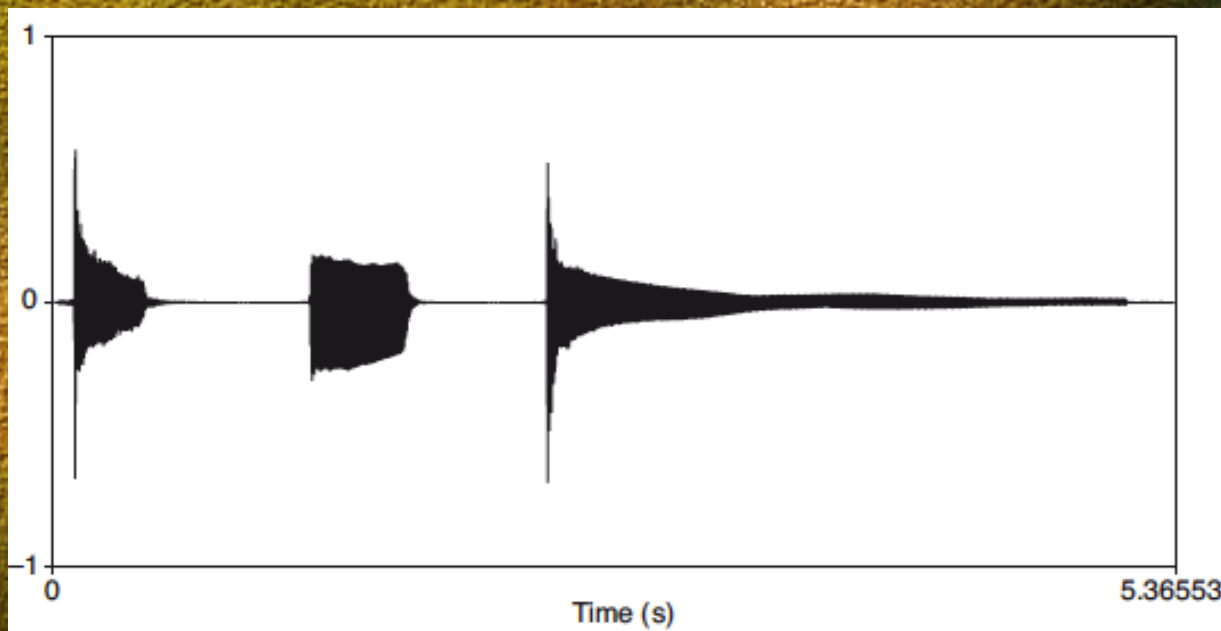
Audio e musica

- La musica è un tipo speciale di audio
- Come si rappresenta la musica?
- Quali sono le operazioni eseguite sui dati musicali?

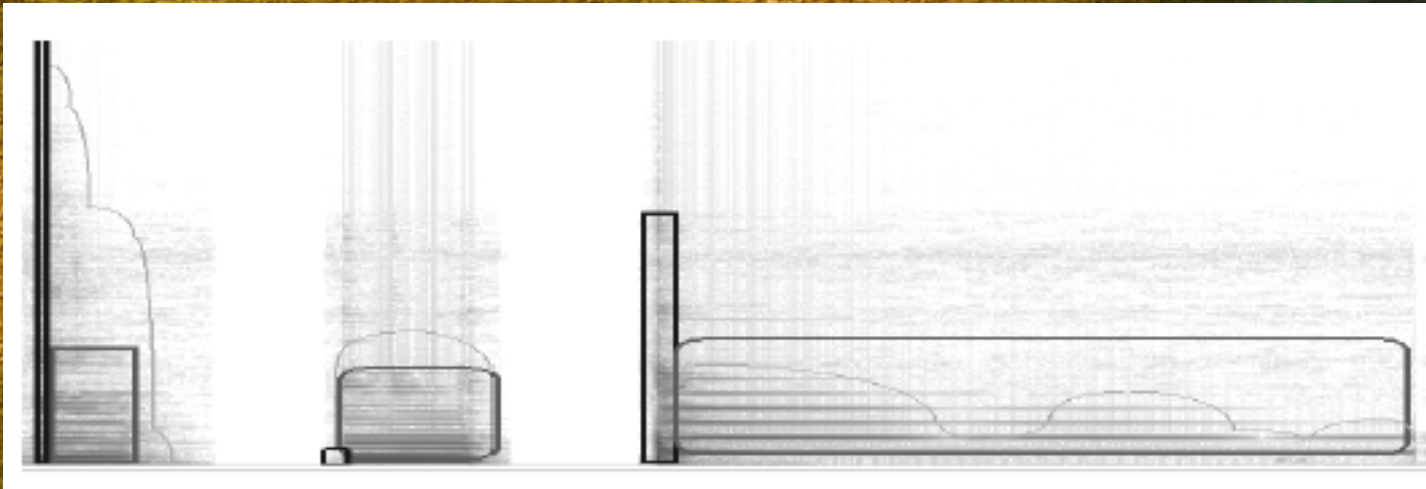
Livelli di rappresentazione



Livello fisico



Livello percettivo



Livello operativo

Musical notation on a four-staff system (G, D, A, E). The notation includes fingerings (1, 10, 9, 5) and performance instructions: 'th.' (thumb), 'pizz' (pizzicato), and '(arm)' (arm). A vertical bar line is present at the end of the notation.

Livello strutturale *Grammatiche, Reti di Petri*

Livello simbolico *Common Practice Notation*

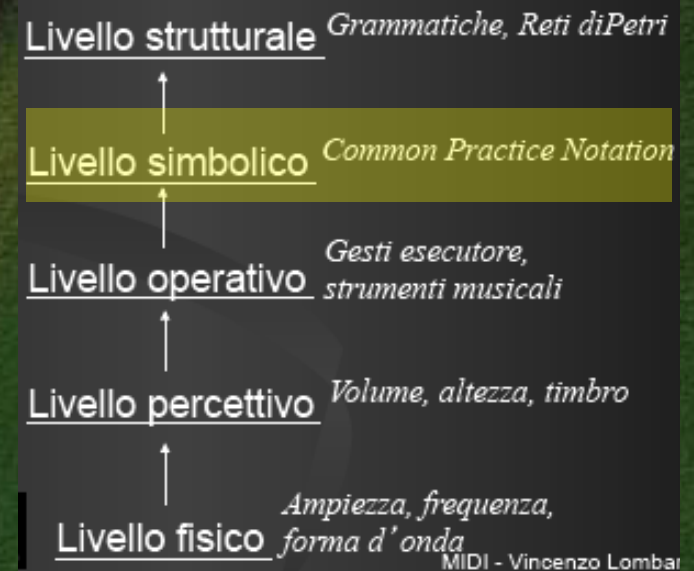
Livello operativo *Gesti esecutore, strumenti musicali*

Livello percettivo *Volume, altezza, timbro*

Livello fisico *Ampiezza, frequenza, forma d'onda*

MIDI - Vincenzo Lombardi

Livello simbolico

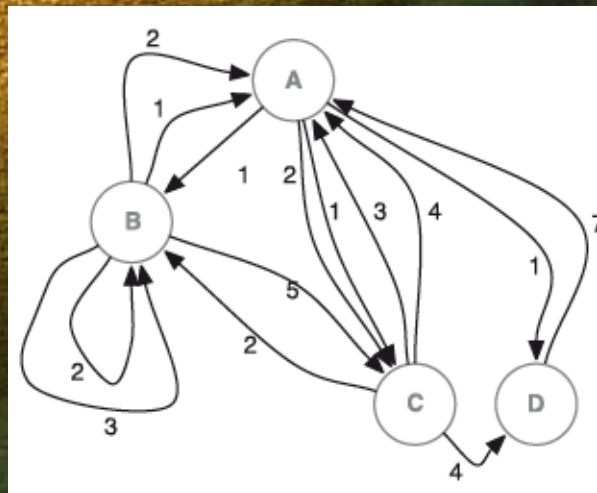


Livello strutturale

...
...	fa	do	sol	re	la	...
...	re	la	mi	si	fa#	...
...	sib	fa	do	sol	re	...
...	sol	re	la	mi	si	...
...	mib	sib	fa	do	sol	...
...

V

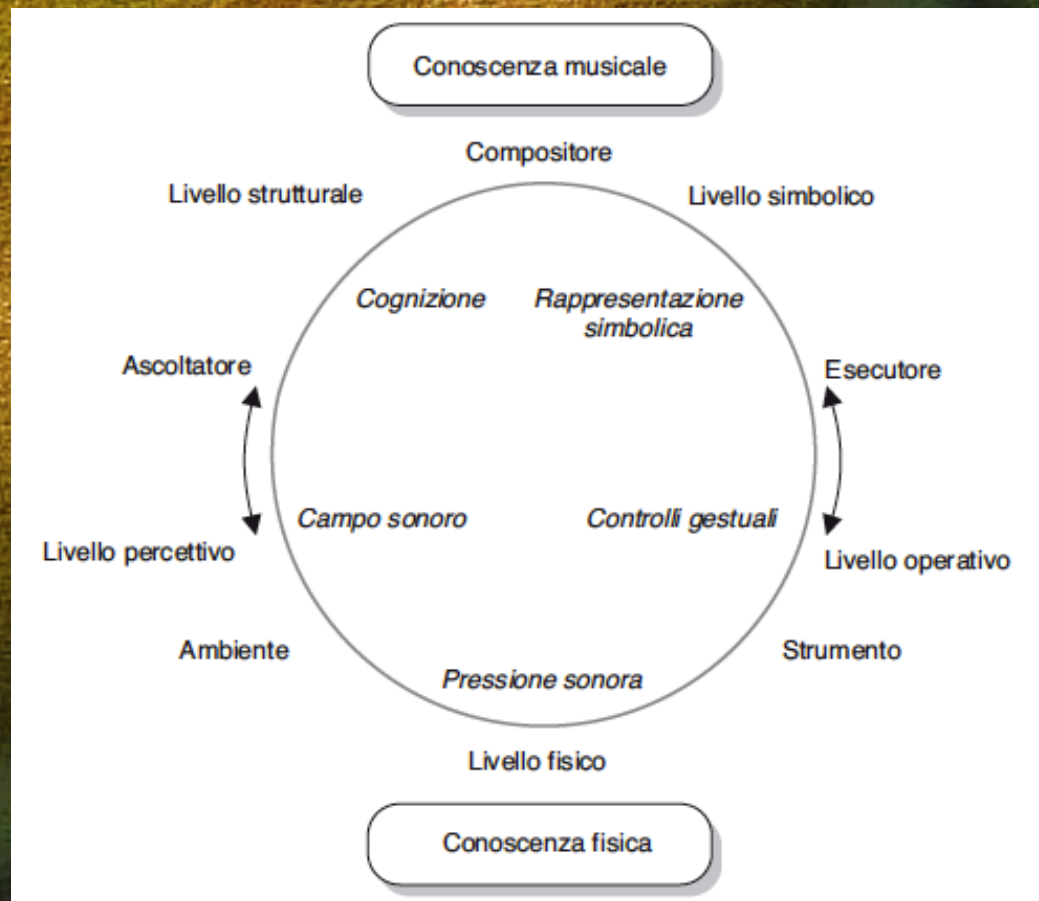
Spazio tonale di Do maggiore



Danse Sacrale (Sacre du Printemps)



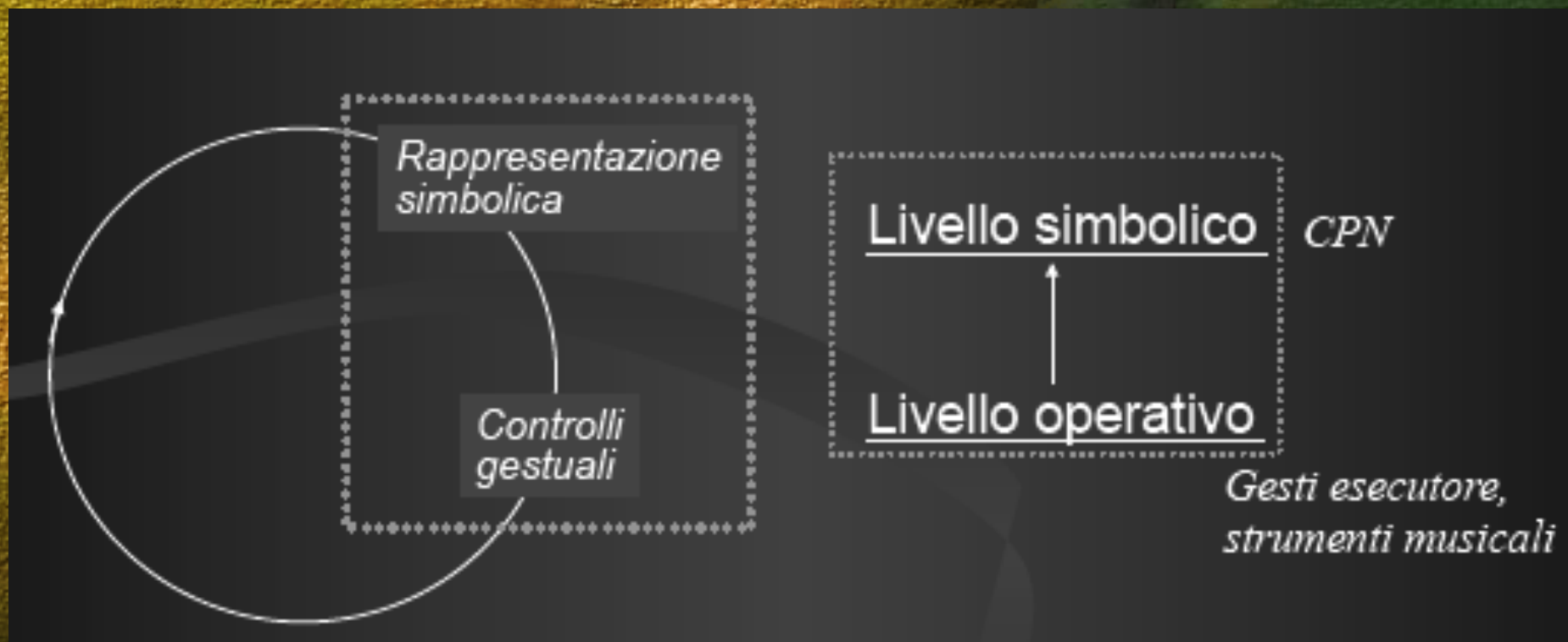
Musica: processi e dati





II MIDI

Dove si posiziona il MIDI



Rappresentazione della musica

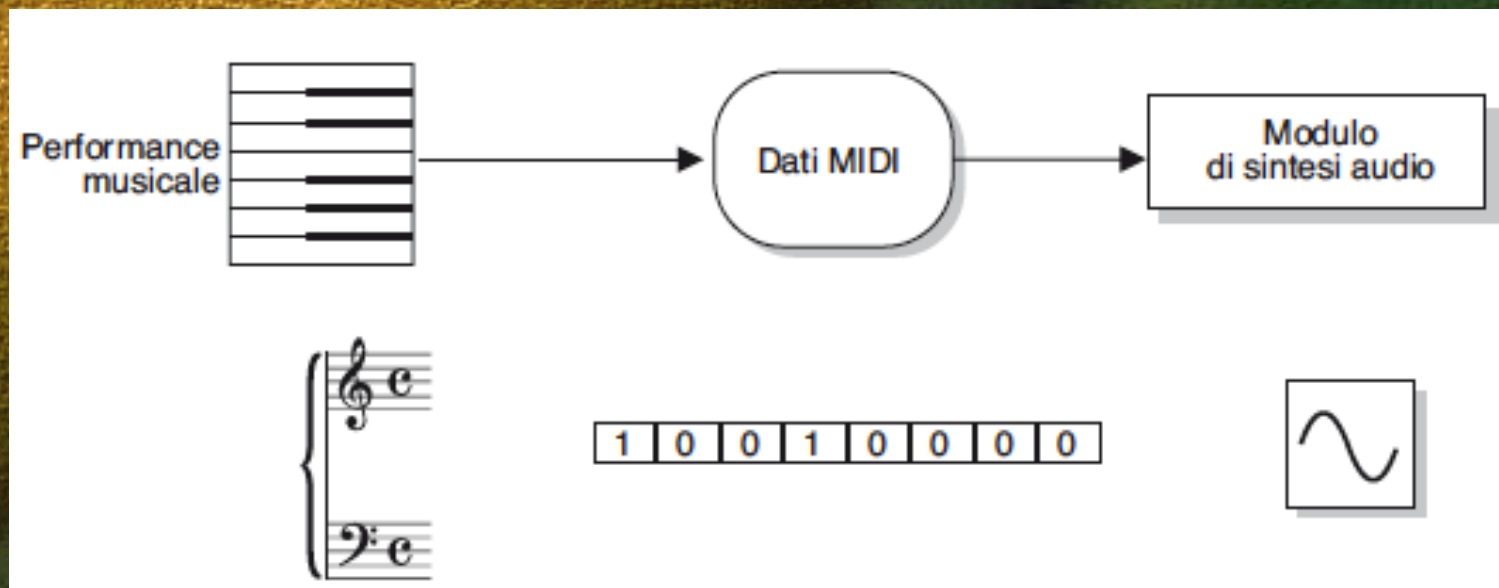
- *espressività*: quali simboli deve includere la rappresentazione
- fino a punto la rappresentazione specifica la performance: *operativa VS simbolica*

MIDI dal 1983

- Protocollo standard per la comunicazione
- Natura dei messaggi non necessariamente musicale
- Rappresentazione di una performance musicale come dati
- Diffusione commerciale universale

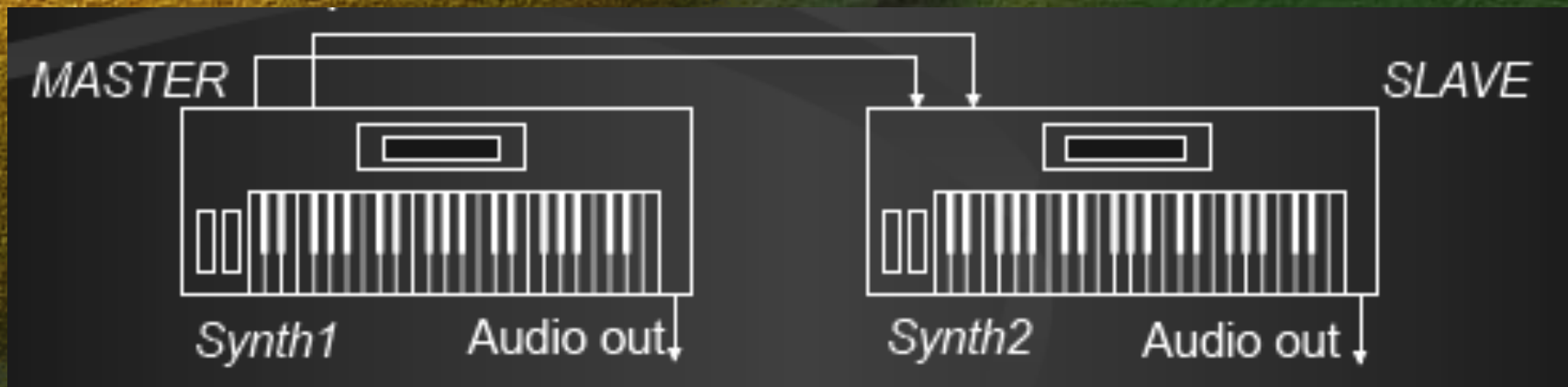
Registrare e riprodurre con il MIDI: il sequencer

- Si registra una performance su una tastiera come info di controllo
- Si ricrea la performance reinviando i dati lungo il cavo MIDI alla tastiera o alla scheda audio



Come nasce il MIDI

- Limitazioni dei primi sintetizzatori (monofonici e con pochi timbri)
- Integrazione di sintetizzatori per suoni più ricchi
- Problema di comunicazione
 - altezza e ampiezza di una nota
 - sincronizzazione



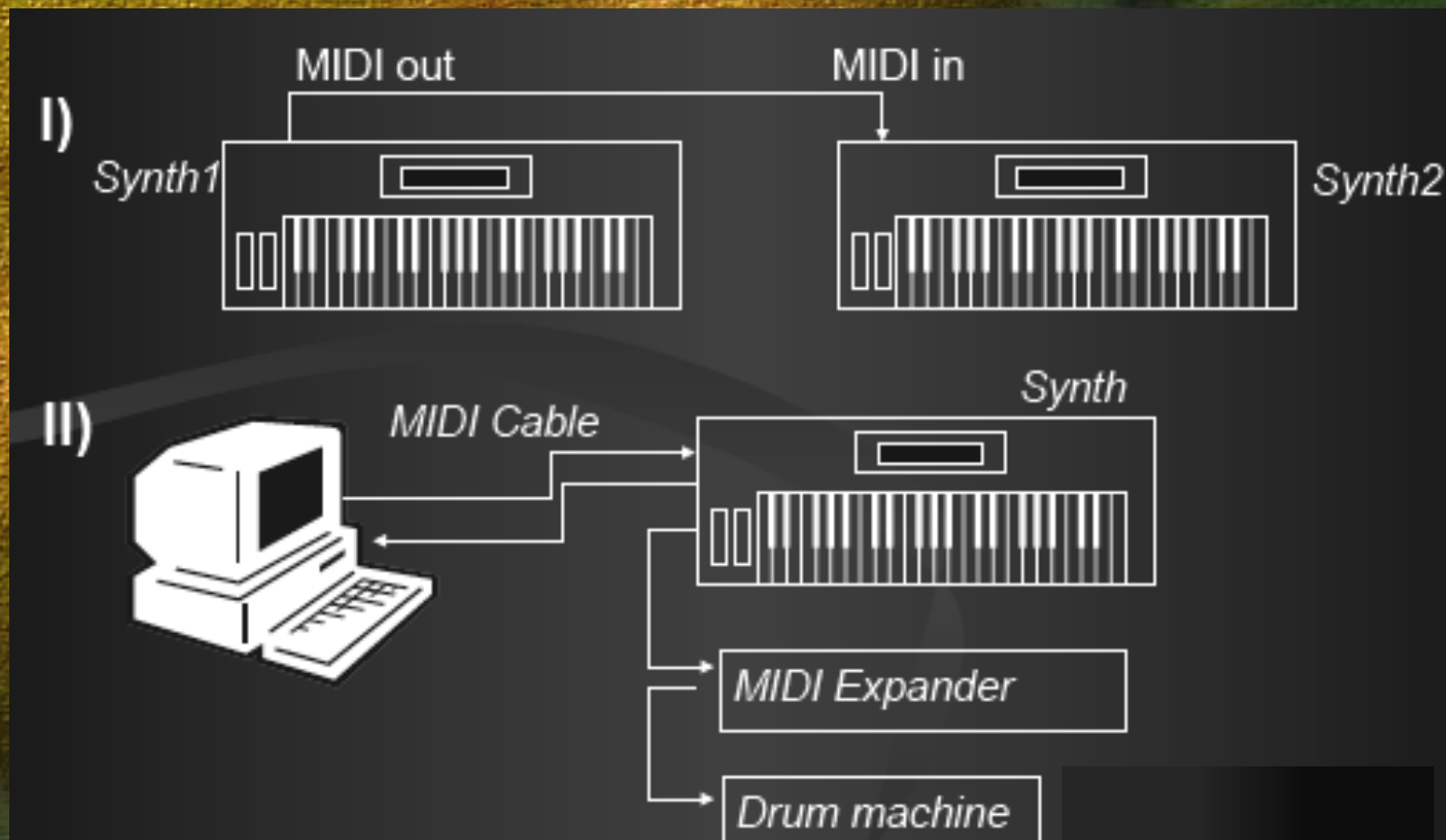
Cronologia

- Inizio anni '80: necessità di standard (cavi, tensione, ...), protocollo USI
- fine '81: Audio Eng. Soc. esamina USI, integrazioni dei maggiori produttori
- 1983: nasce il MIDI; 1984: nasce MMA
- 1991 la MMA e J(apan)MSC. General MIDI (*Level 2 Specification* del 1999, aggiornata 2003)
- 1999 e 2004: tecnologia *DownLoadable Sounds* (DLS): campioni in formato RIFF da comporre
- Dal 2001 *eXtensible Music Format* (XMF), protezione del contenuto e altri metadati.
- *General MIDI Lite Specification* (2001) e *Mobile DLS Specification* (2004): General MIDI per dispositivi mobili
- MIDI in applicazioni multimediali

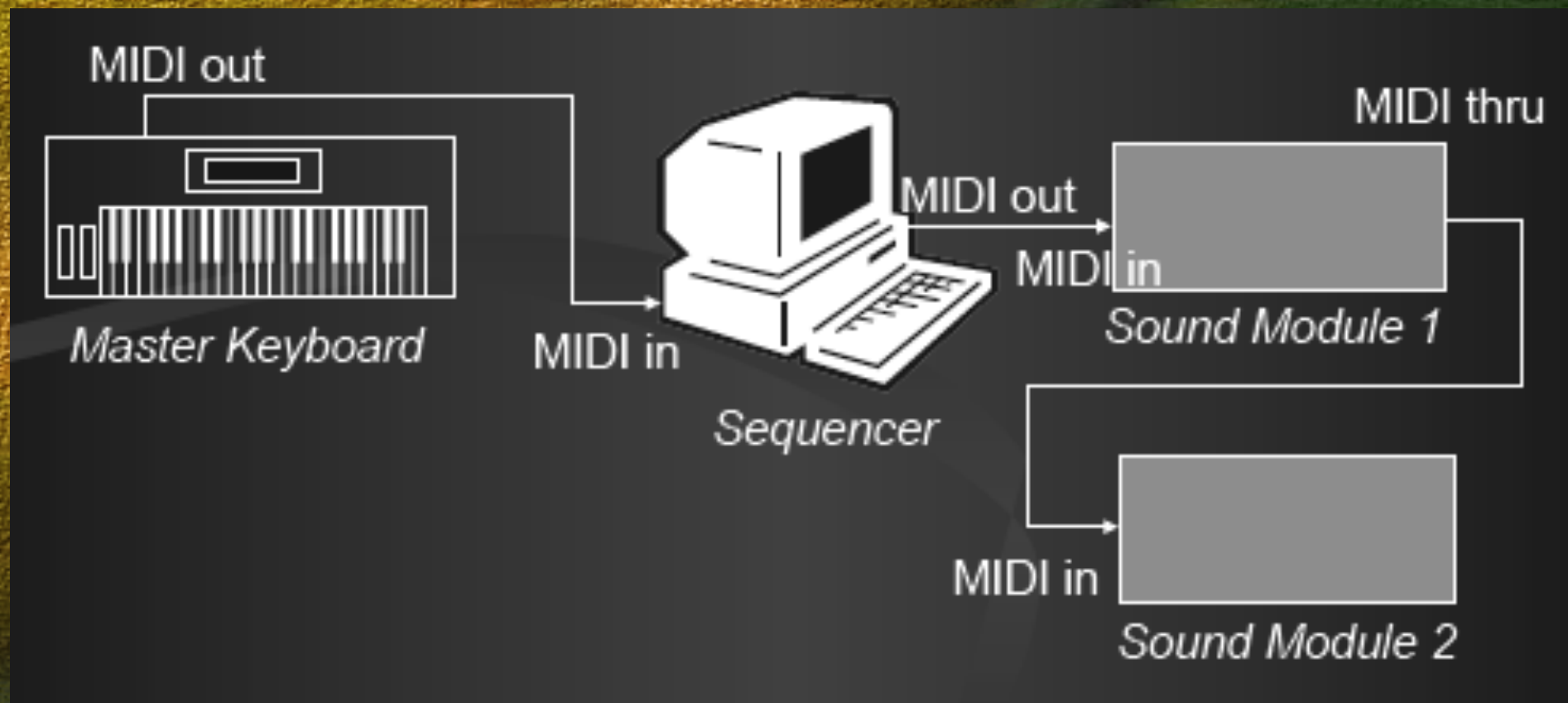
Successo del MIDI

- Basso costo: ok per produttori e utenti
- Esigenza di avere uno standard
- Possibilità di comunicare tra marche
- Comunicazione tra strumenti e altri dispositivi elettronici (computer, sequencer, controllo luci, mixer, ...)

Collegamenti MIDI



Sistema MIDI



Tre aspetti del MIDI

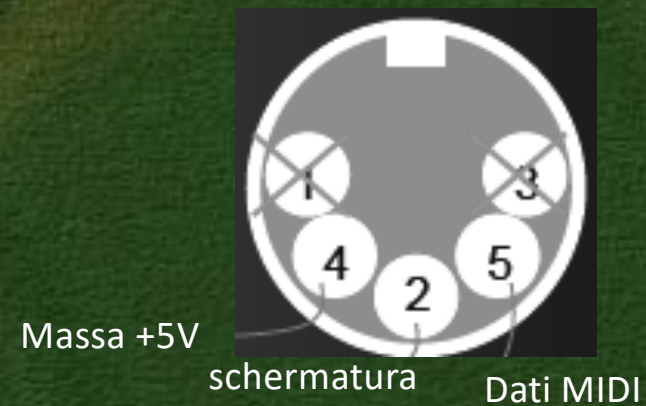
- Interfaccia: hardware per la comunicazione tra i dispositivi: connettori, porte, dispositivi di I/O
- Protocollo di comunicazione
 - istruzioni per un sintetizzatore
 - sintetizzatore genera i suoni effettivi
- Formato di file su cui archiviare i dati (*Standard MIDI File, SMF*)



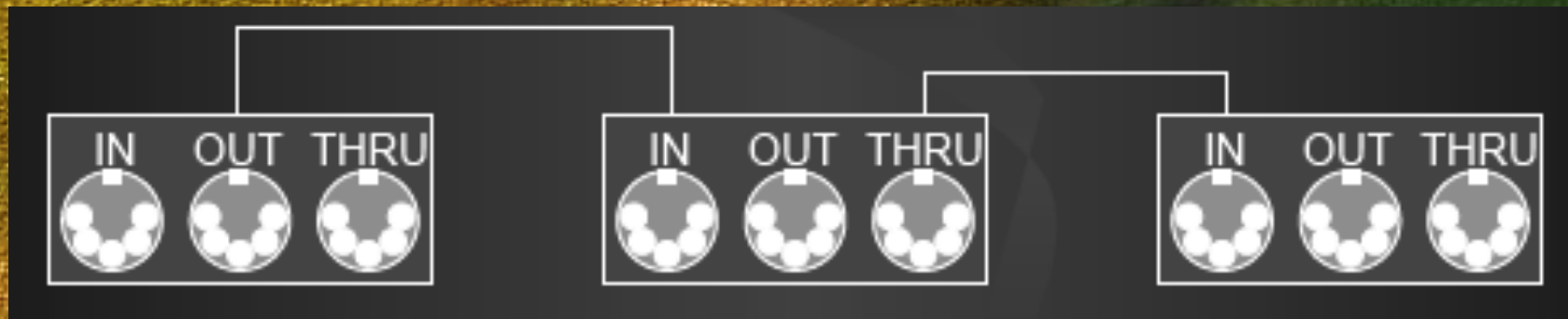
Hardware MIDI

Interfaccia MIDI

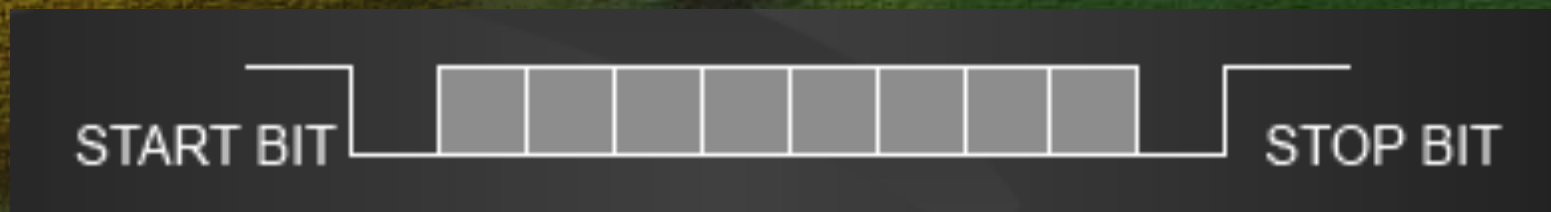
- Interfaccia seriale asincrona
- Velocità: 31.250 bit/sec
- Connettori di tipo DIN a 5 pin
 - tipici degli impianti audio
 - ma trasportano info numeriche



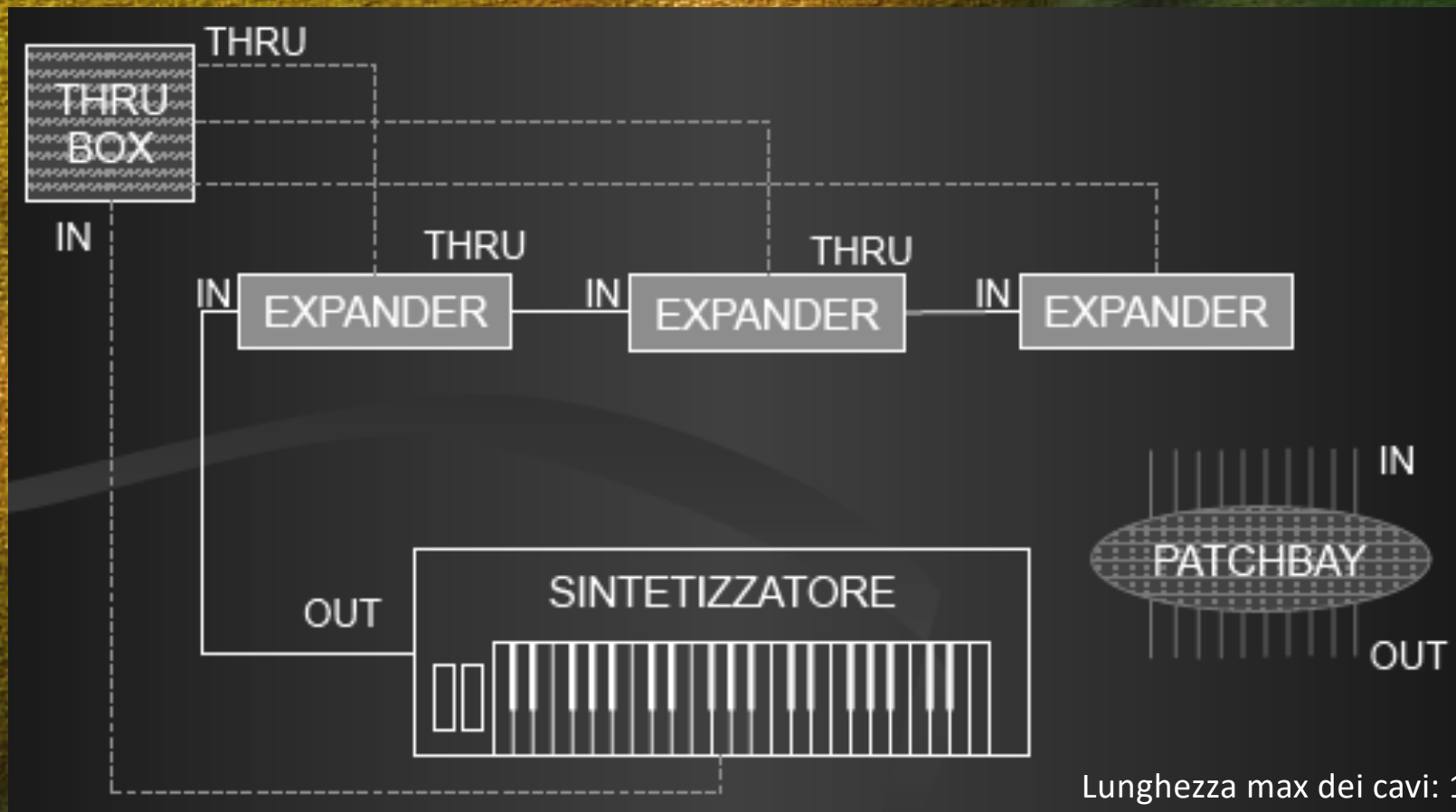
Porte, pacchetti



Pacchetti: 8 + 2 bit (320 μ sec)



Connessioni MIDI



Lunghezza max dei cavi: 15 m (50 piedi)

Ma qualche novità wireless: <https://www.macitynet.it/col-roland-wm-1-il-collegamento-midi-diventa-wireless/>



Protocollo di comunicazione

Il protocollo MIDI

- Comunicazione attraverso messaggi
- I messaggi non rappresentano una forma d'onda
- Solo informazioni di controllo: *NoteOn*

I canali

- “strade per la comunicazione” per veicolare i messaggi agli expander
- il MIDI ha 16 canali per la comunicazione
- I device possono rispondere a 1 o più canali
- 16 è la massima ricchezza timbrica

Le chiavi (128)

C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	Ottava
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	-1
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	1
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	2
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	3
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	4
72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	5
84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	6
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	7
108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	8
120	121	122	123	124	125	126	127					9

La song

- sequenza di messaggi MIDI
- registrata sulla memoria di un device MIDI o in un MIDI file

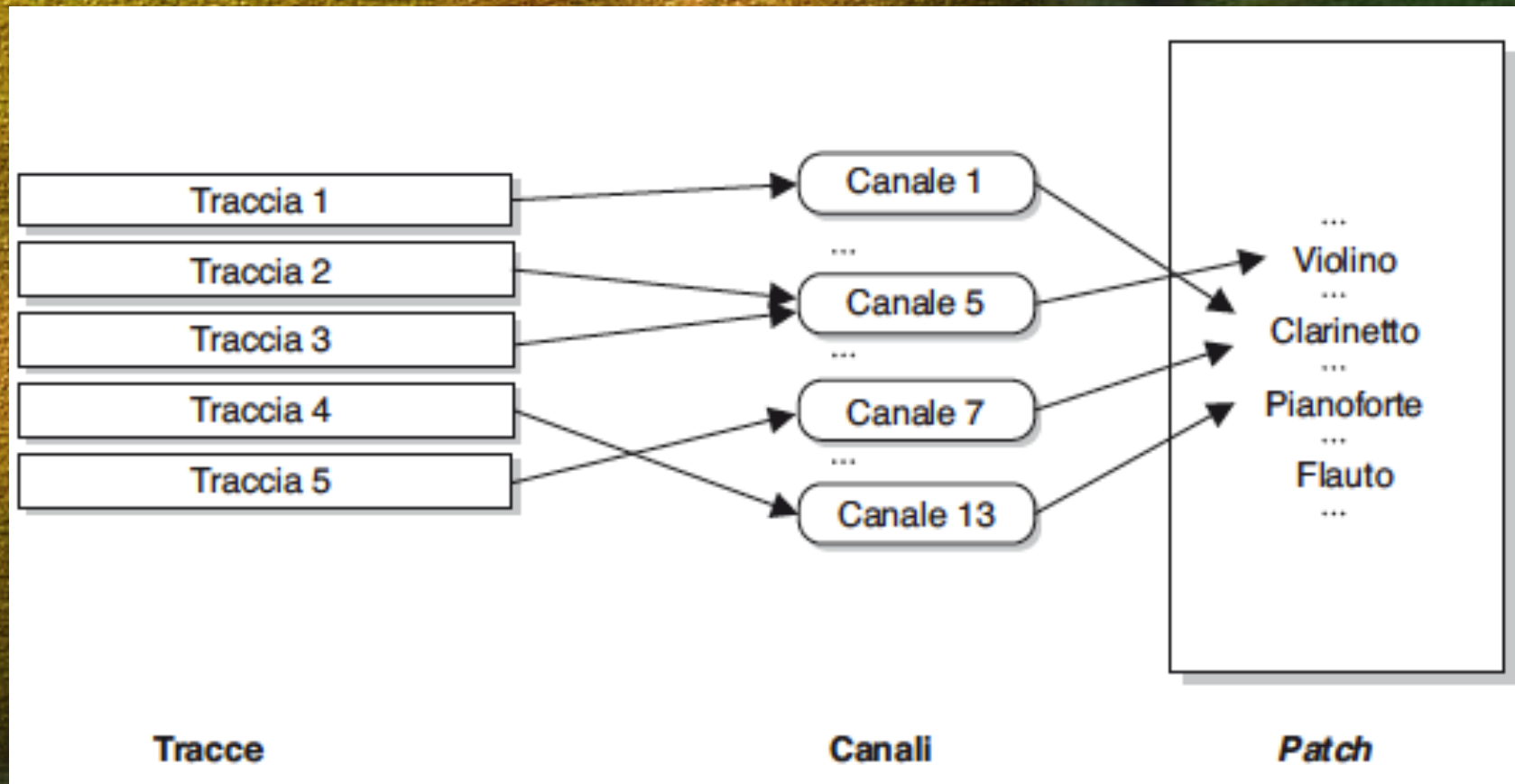
La traccia

- Flusso strutturato e autonomo di messaggi MIDI, distinto logicamente da altre tracce
 - brano per due pianoforte
 - brano per un solo pianoforte a più parti (“voci”), “melodia e accompagnamento”
- In pratica, si assegna a ogni traccia un canale (si può “riorchestrare” un brano)
- Come la traccia nel messaggio audio

La patch

- E' lo "strumento": massimo di 128 patch (timbri)
- Numero incrementabile con i banchi (*bank*)
- Ogni banco 128 patch, con n banchi, $128n$ patch

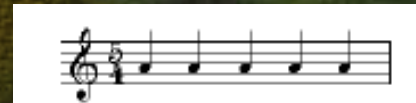
Riassumiamo



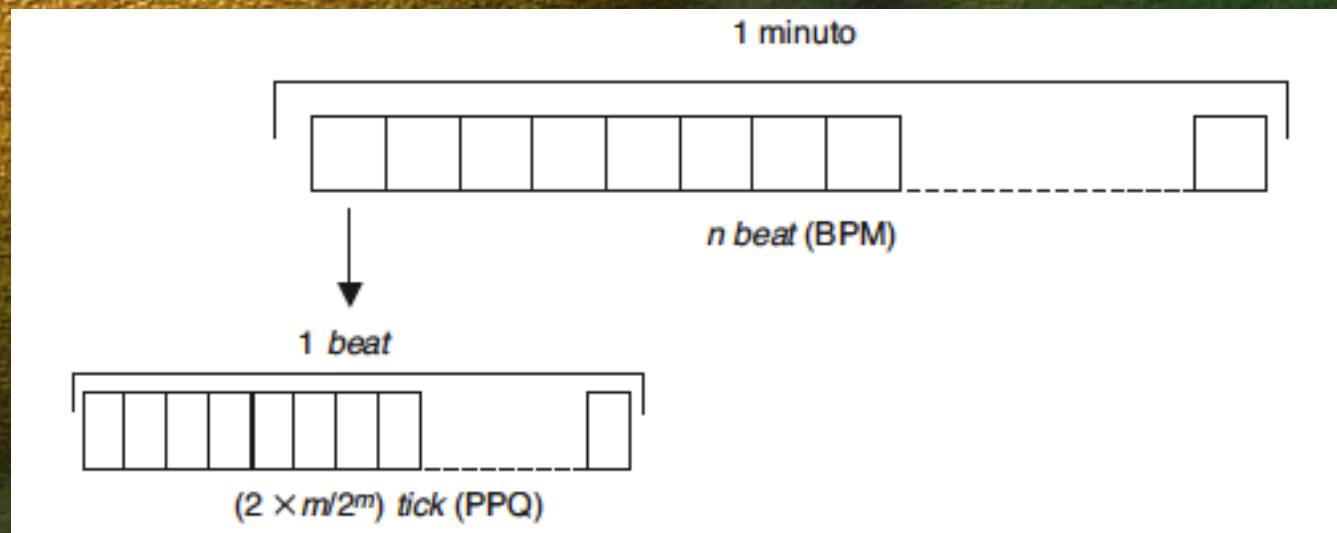
Temporizzazione

- I messaggi MIDI includono l'informazione temporale (timestamp)
- Clock con unità di misura (timebase) speciale: *PPQ* (parti per quarto) o *ticks*
- Valori tipici: 24, 96, 480 (tutti multipli di 24)

Il tempo effettivo



- Conversione da timebase in tempo effettivo
- Occorre sapere quanto dura un quarto/beat
- BPM = beat per minuto (di solito tra 40 e 240)

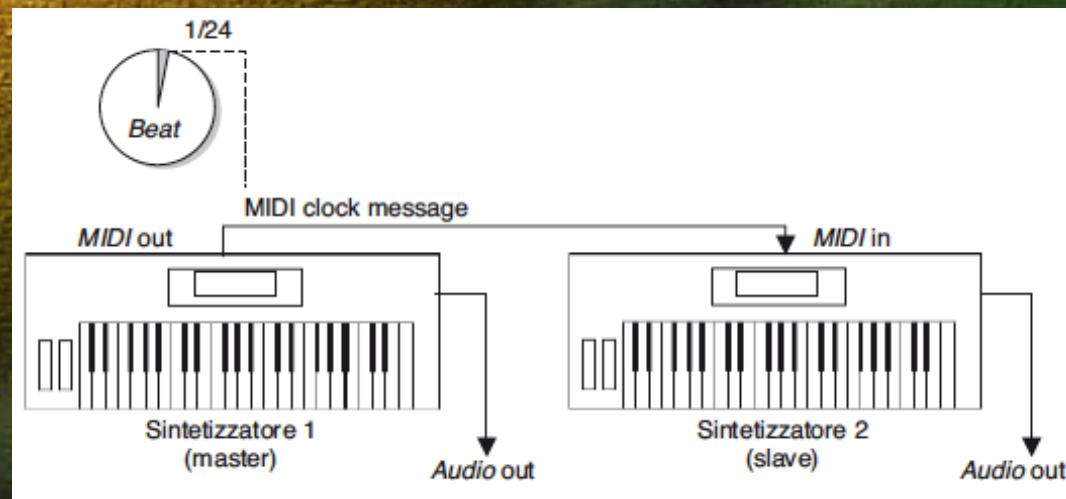


Esempio

- 120 BPM, Timebase = 24 ticks
- 120 BPM = 2 beat/sec, cioè 0,5 sec per 1 beat
- 24 ticks in un beat, cioè in 0,5 sec
- $0,5 / 24 = 0,020833$ sec = circa 21 msec
- Quindi 1 tick dura circa 21 msec

Sincronizzazione MIDI

- Device master con internal sync: produce un clock message 24 volte in un beat
- Device slave con external sync: usano il clock message che arriva dal master



Esempio

- *BPM* = 40

- Ogni beat dura $60 \text{ secondi} / 40 \text{ beat} = 1,5 \text{ secondi}$
- Se in 1,5 secondi ci sono 24 messaggi, allora in 1 secondo ce ne sono 16
- $(24 : 1 = x : 1,5, \text{ quindi } x = 24 / 1,5 = 16)$
- 16 messaggi di sincronizzazione al secondo

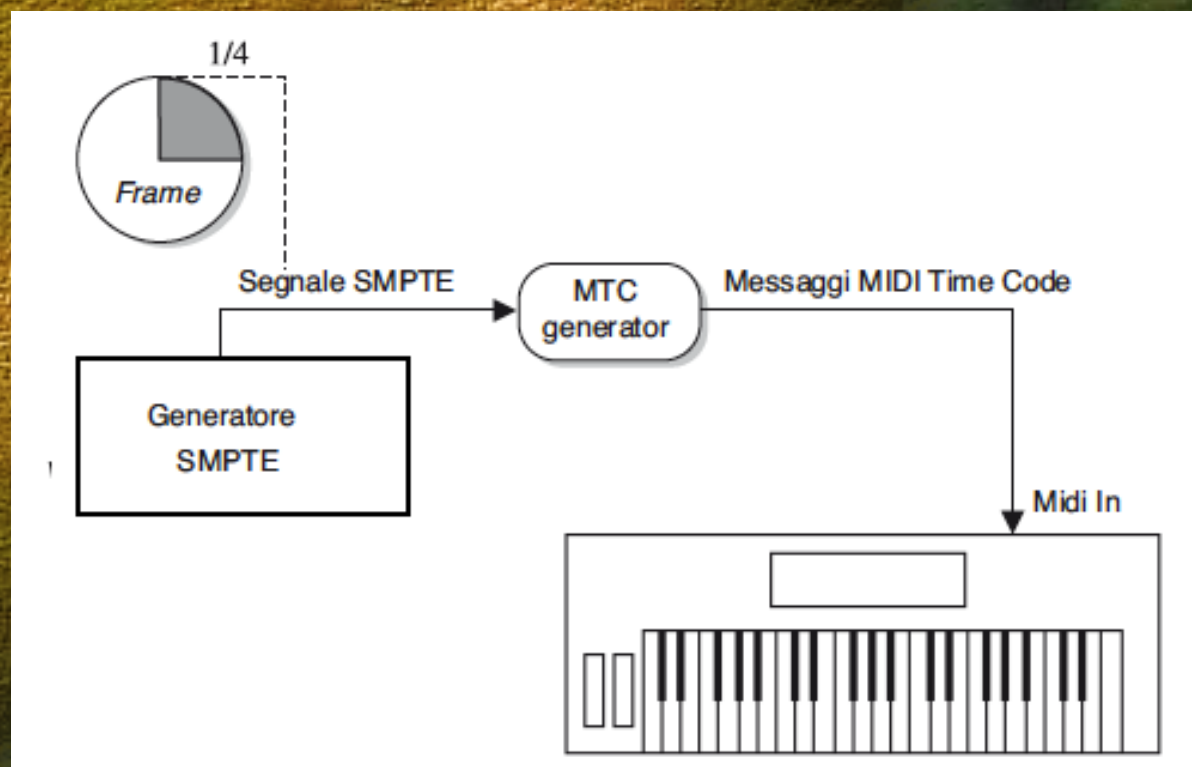
- *BPM* = 240

- 1 beat = $60 / 240 = 0,25 \text{ secondi}$;
- $24 : 1 = x : 0,25, \text{ quindi } x = 24 / 0,25 = 96$
- 96 messaggi di sincronizzazione al secondo

MIDI Timecode Quarter Frame

- Sincronizzazione di info MIDI e altre risorse
- Fondamentale in ambiente multimediale
- Il timecode (SMPTE) hh:mm:ss:ff
 - si usa in televisione e video produzione
 - in TV i frame sono 25 o 30 in un secondo
 - codice speciale inviato (o registrato) insieme con i segnali video e audio

Schema sincronizzazione



MTC Message

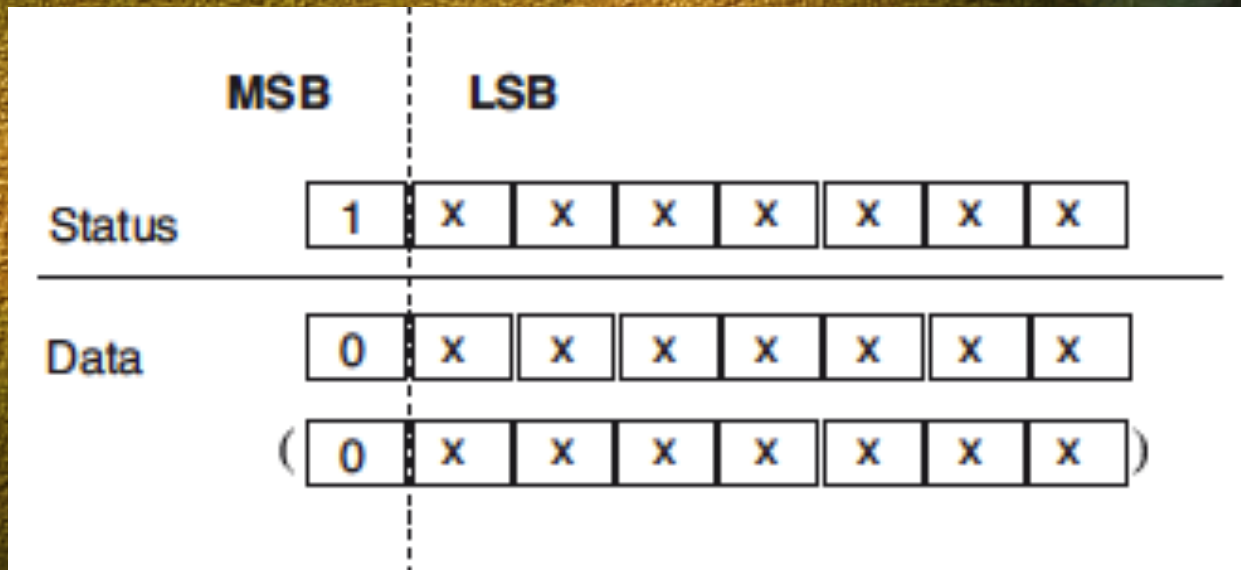
- Sequenza di messaggi real time per codificare una locazione completa in timecode
- 8 messaggi di 2 byte
 - status byte: 1111 0001
 - data bytes (in realtà solo 4 bit di dati per msg):
 - 0000 nnnn LS frames 0100 nnnn LS minutes
 - 0001 nnnn MS frames 0101 nnnn MS minutes
 - 0010 nnnn LS seconds 0110 nnnn LS hours
 - 0011 nnnn MS seconds 0111 nnnn MS hours

Esempio di codifica hh:mm:ss:ff

- Esempio 01h:03m:16s:20ff
 - hh: 8 bit 00000001: 0000 0001
 - mm: 8 bit 00000011: 0000 0011
 - ss: 8 bit 00010000: 0001 0000
 - ff: 8 bit 00010100: 0001 0100
- **Non sono necessari 8 bit per le ore**
 - Due bit codificano il timecode in uso
 - 4 valori per rappresentare i media da sincronizzare
 - 24 fps (cinema), 25 fps (TV PAL), 30 dfps (TV NTSC)
- Codifica binaria immediata:
 - 1111 0001 - 0111 0000 (0111 nnnn MS hours)
 - 1111 0001 - 0110 0001 (0110 nnnn LS hours)
 - 1111 0001 - 0101 0000 (0101 nnnn MS minutes)
 - 1111 0001 - 0100 0011 (0100 nnnn LS minutes)
 - 1111 0001 - 0011 0001 (0011 nnnn MS seconds)
 - 1111 0001 - 0010 0000 (0010 nnnn LS seconds)
 - 1111 0001 - 0001 0001 (0001 nnnn MS frames)
 - 1111 0001 - 0000 0100 (0000 nnnn LS frames)

Messaggi MIDI: struttura generale

- Status byte: identifica messaggio (80H-FFH)
- 1 o 2 Data byte: il messaggio (00H-7FH)

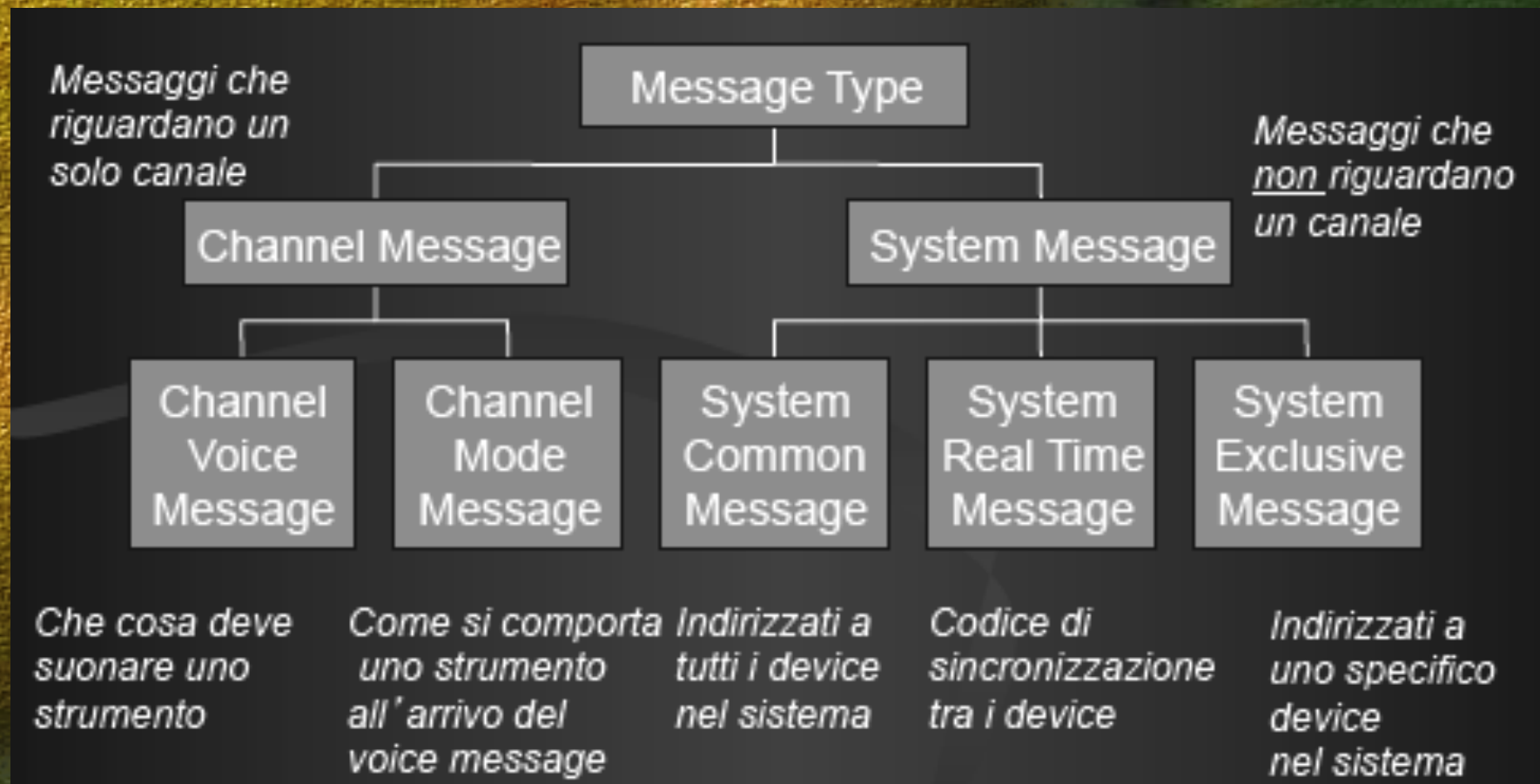


Data byte

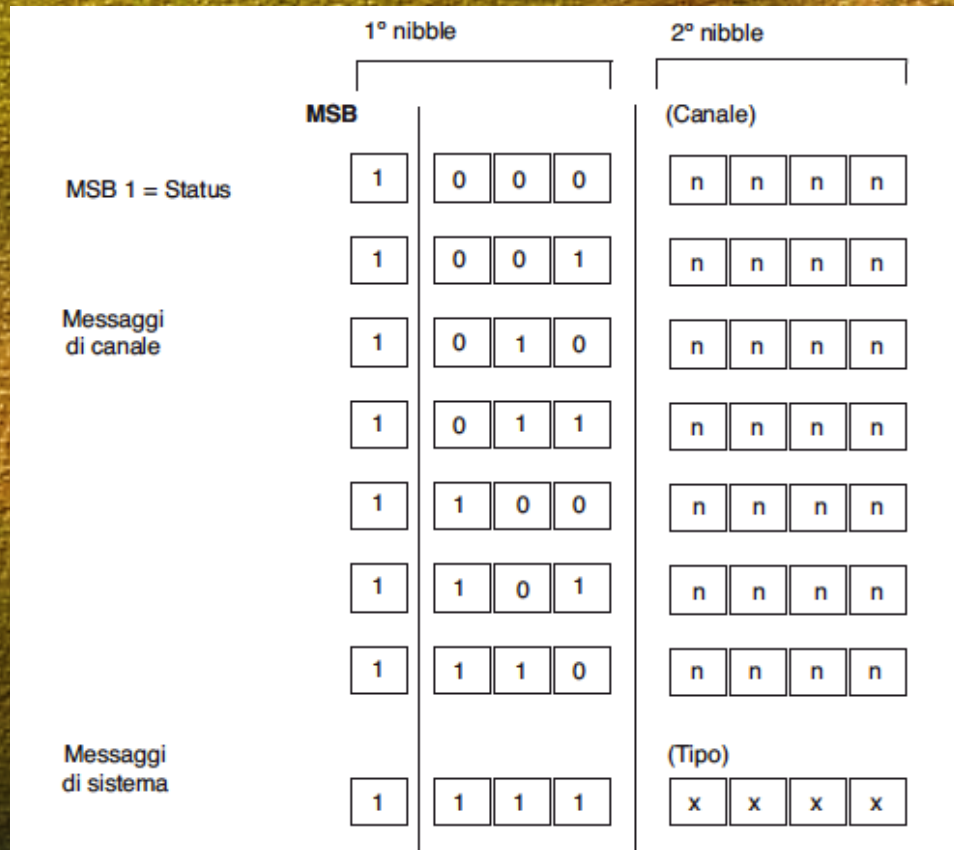
- Iniziano con 0: 0DDD DDDD
- 128 valori a disposizione

Eccezioni: messaggi Real Time, Exclusive

Tassonomia dei messaggi



Struttura dei messaggi



Note off

Note on

Polyphonic Key Pressure (Aftertouch)

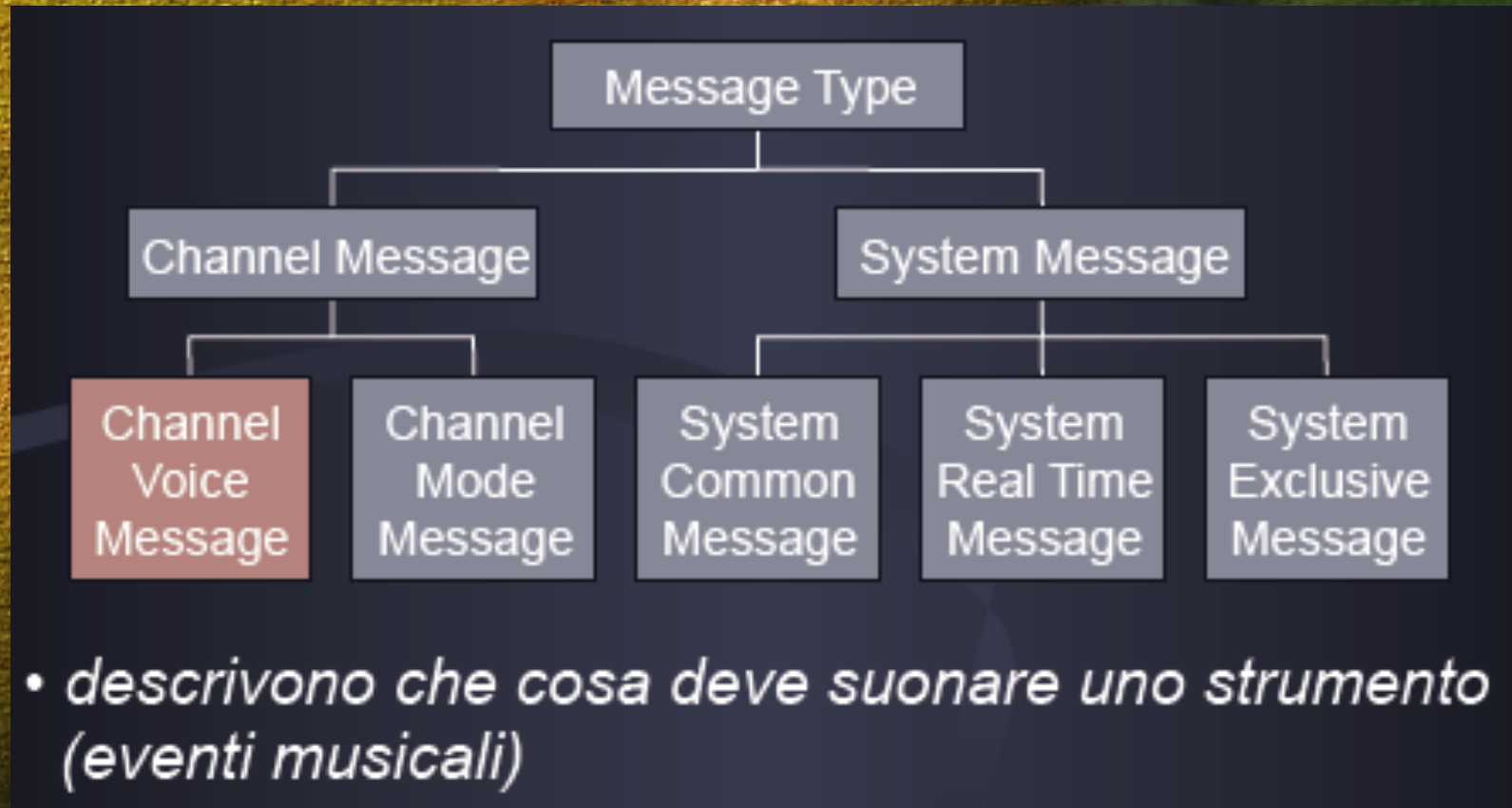
Control Change

Program Change

Channel Pressure (After-touch)

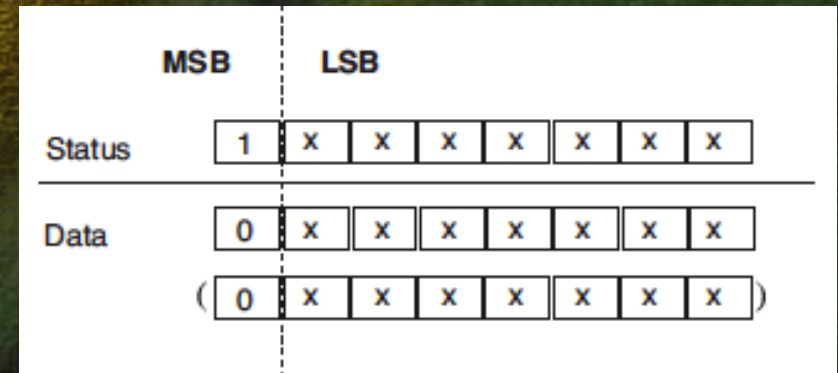
Pitch Bend Change

Messaggi Channel Voice



Note On

- si invia quando per attivare una nota
 - tasto di una tastiera
 - pad di una batteria elettronica
- 2 data bytes
 - numero nota (Do centrale = 60) 0NNN NNNN
 - velocity: forza con cui si pigia un tasto (ampiezza dell'output, eventualmente timbro) 0VVV VVVV



Note Off

- si invia per disattivare una nota
- 2 data bytes
 - numero della nota 0NNN NNNN
 - velocity: applicata al rilascio 0VVV VVVV

NoteOn e NoteOff abbreviati

- Codifica abbreviata: velocity poco significativa per il NoteOff
- NoteOff = “NoteOn con velocity = 0”
 - non si ripete il NoteOn
 - 91 47 50 91 47 0 = 91 47 50 47
- Si risparmia un 33% di traffico sulla rete

Aftertouch (Polyphonic Key Pressure)

- Device che rilevano cambi di pressione
- Strumenti con afflusso continuo di energia
- 2 data bytes
 - numero della nota 0NNN NNNN
 - valore di pressione 0VVV VVVV

Aftertouch (Channel Pressure)

- Device che rilevano cambi di pressione
- Modifiche timbriche su tutto il canale
- 1 data byte: pressione 0VVV VVVV
- Effetti diversi a seconda del device usato

Pitch Bend Change

- sulla tastiera Pitch Wheel
 - variazione frequenziale intorno a quella del numero di tasto premuto
 - corrisponde agli effetti di vibrato
- 2 data byte: velocity e variazione

Program Change

- per sintetizzatori multi-timbrici
- 1 data byte: Pgm No. 0PPP PPPP
- cambia il timbro (su un canale)
 - *patch*: timbro prodotto da un generatore
 - standard General MIDI

Patch General MIDI (1991)

[Wikipedia]

Piano [edit]

- 1 Acoustic Grand Piano
- 2 Bright Acoustic Piano
- 3 Electric Grand Piano
- 4 Honky-tonk Piano
- 5 Electric Piano 1
- 6 Electric Piano 2
- 7 Harpsichord
- 8 Clavi^[disambiguation needed]

Chromatic Percussion [edit]

- 9 Celesta
- 10 Glockenspiel
- 11 Music Box
- 12 Vibraphone
- 13 Marimba
- 14 Xylophone
- 15 Tubular Bells
- 16 Dulcimer

Organ [edit]

- 17 Drawbar Organ
- 18 Percussive Organ
- 19 Rock Organ
- 20 Church Organ
- 21 Reed Organ

- 22 Accordion
- 23 Harmonica
- 24 Tango Accordion

Guitar [edit]

- 25 Acoustic Guitar (nylon)
- 26 Acoustic Guitar (steel)
- 27 Electric Guitar (jazz)
- 28 Electric Guitar (clean)
- 29 Electric Guitar (muted)
- 30 Overdriven Guitar
- 31 Distortion Guitar
- 32 Guitar Harmonics

Bass [edit]

- 33 Acoustic Bass
- 34 Electric Bass (finger)
- 35 Electric Bass (pick)
- 36 Fretless Bass
- 37 Slap Bass 1
- 38 Slap Bass 2
- 39 Synth Bass 1
- 40 Synth Bass 2

Strings [edit]

- 41 Violin
- 42 Viola

- 43 Cello
- 44 Contrabass
- 45 Tremolo Strings
- 46 Pizzicato Strings
- 47 Orchestral Harp
- 48 Timpani

Ensemble [edit]

- 49 String Ensemble 1
- 50 String Ensemble 2
- 51 Synth Strings 1
- 52 Synth Strings 2
- 53 Choir Aahs
- 54 Voice Oohs
- 55 Synth Choir
- 56 Orchestra Hit

Brass [edit]

- 57 Trumpet
- 58 Trombone
- 59 Tuba
- 60 Muted Trumpet
- 61 French Horn
- 62 Brass Section
- 63 Synth Brass 1
- 64 Synth Brass 2

Reed [edit]

- 65 Soprano Sax
- 66 Alto Sax
- 67 Tenor Sax
- 68 Baritone Sax
- 69 Oboe
- 70 English Horn
- 71 Bassoon
- 72 Clarinet

Pipe [edit]

- 73 Piccolo
- 74 Flute
- 75 Recorder
- 76 Pan Flute
- 77 Blown bottle
- 78 Shakuhachi
- 79 Whistle
- 80 Ocarina

Synth Lead [edit]

- 81 Lead 1 (square)
- 82 Lead 2 (sawtooth)
- 83 Lead 3 (calliope)
- 84 Lead 4 (chiff)
- 85 Lead 5 (charang)

- 86 Lead 6 (voice)
- 87 Lead 7 (fifths)
- 88 Lead 8 (bass + lead)

Synth Pad [edit]

- 89 Pad 1 (new age)
- 90 Pad 2 (warm)
- 91 Pad 3 (polysynth)
- 92 Pad 4 (choir)
- 93 Pad 5 (bowed)
- 94 Pad 6 (metallic)
- 95 Pad 7 (halo)
- 96 Pad 8 (sweep)

Synth Effects [edit]

- 97 FX 1 (rain)
- 98 FX 2 (soundtrack)
- 99 FX 3 (crystal)
- 100 FX 4 (atmosphere)
- 101 FX 5 (brightness)
- 102 FX 6 (goblins)
- 103 FX 7 (echoes)
- 104 FX 8 (sci-fi)

Ethnic [edit]

- 105 Sitar
- 106 Banjo

- 107 Shamisen
- 108 Koto
- 109 Kalimba
- 110 Bagpipe
- 111 Fiddle
- 112 Shanai

Percussive [edit]

- 113 Tinkle Bell
- 114 Agogo
- 115 Steel Drums
- 116 Woodblock
- 117 Taiko Drum
- 118 Melodic Tom
- 119 Synth Drum
- 120 Reverse Cymbal

Sound effects [edit]

- 121 Guitar Fret Noise
- 122 Breath Noise
- 123 Seashore
- 124 Bird Tweet
- 125 Telephone Ring
- 126 Helicopter
- 127 Applause
- 128 Gunshot

Richieste GM per device MIDI

- 24 voci di polifonia
- 16 canali polifonici e politimbrici
 - riproduzione contemporanea di 16 timbri
 - il 10 riservato alla batteria
- accordatura su La_3 (440 Hz), nota 69
- Inizializzazione generatore multitimbrico (bend = 0, volume = 90)
- ...

Altri approcci

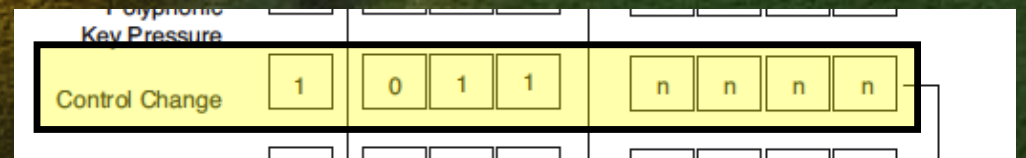
- Limiti di GM: 128 strumenti e controller (ma vedere GM 2 – 1999)
- Roland GS (General Standard)
 - messaggio Bank Select (aumenta i preset)
 - controllo di effetti audio e parametri del suono
- Yamaha XG
 - strumenti, effetti, drum kit estesi
 - scalabilità: approssimazione di messaggi

Channel mode message



Controllori

- MIDI oltre la pianola elettronica
 - controlli per l'espressività
 - dai pedali al soffio
- 2 byte di codifica
 - identificatore del controllore: 0CCC CCCC
 - valore del controllore: 0VVV VVVV



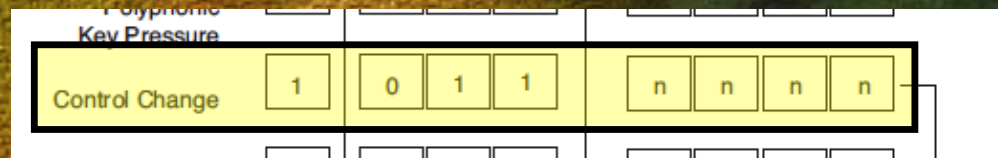
Due categorie di controllori

- Controller continui: funzione di controllo
 - controller 7: volume generale dello strumento
 - controller 10: panning stereofonico di un suono
- Controller a switch (valore ON/OFF)
 - 64 (DAMPER PEDAL): pedale sostegno (ON/OFF)
 - 123 (ALL NOTES OFF): spegne tutti i NoteOn attivi



0CCC CCCC
0VVV VVVV

Channel Mode



All Sound Off: $c = 120, v = 0$

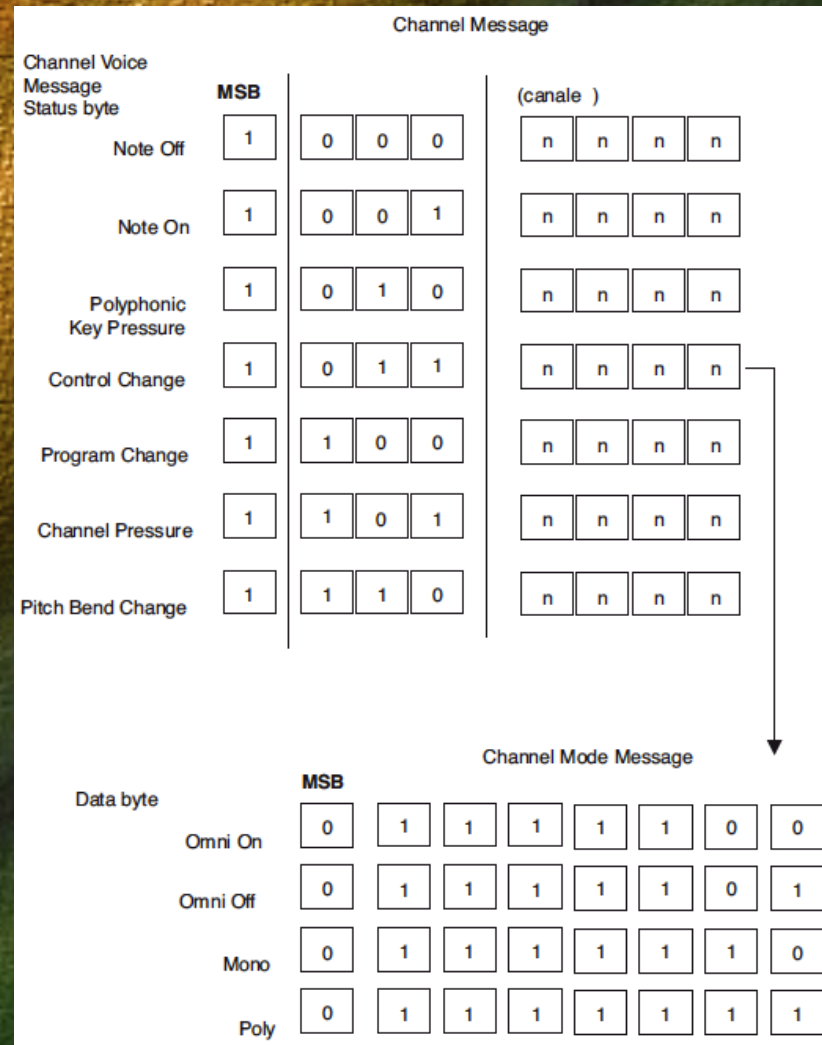
Reset All Controllers: $c = 121, v = x$

Local Control Off: $c = 122, v = 0$; Local Control On $c = 122, v = 127$

All Notes Off. $c = 123, v = 0$

Channel Mode

c = 124 - 127



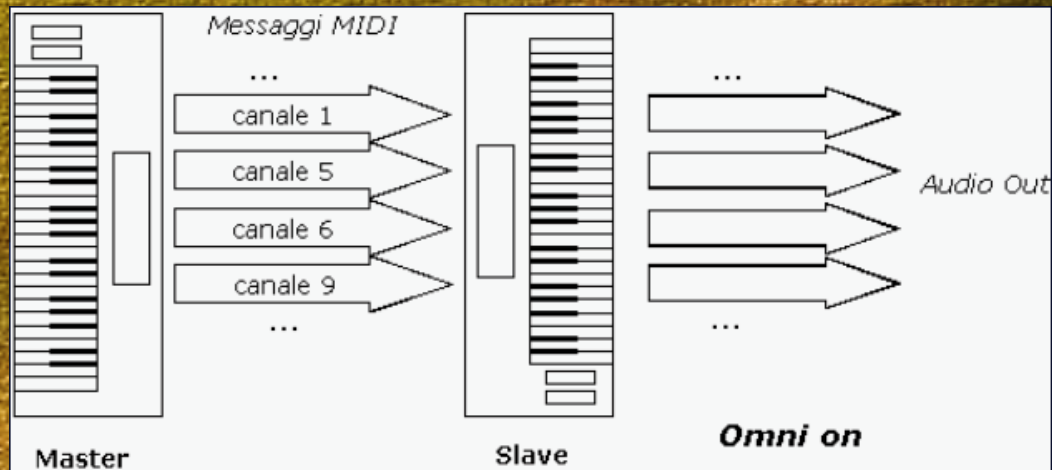
I modi

- Un expander può generare più suoni in contemporanea (*voci*)
- Eventualmente con più timbri

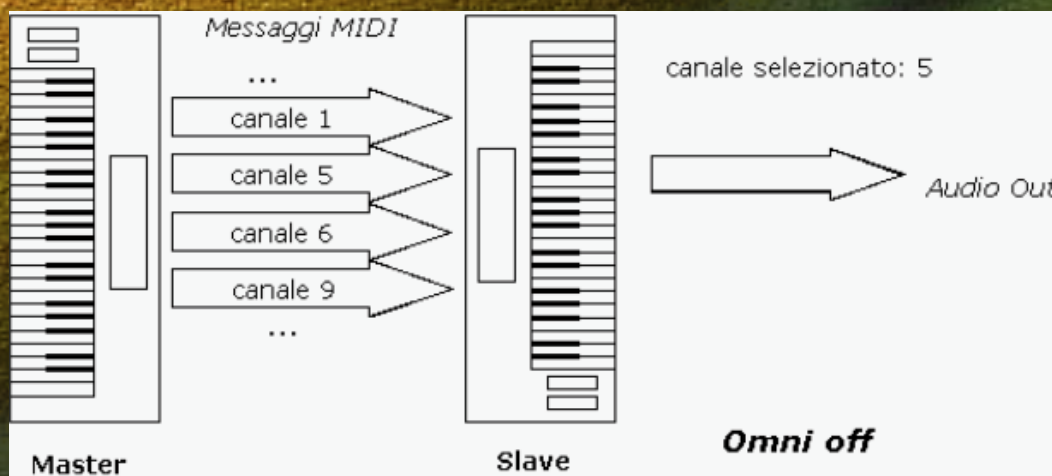
- criteri con cui un device decide di accettare un messaggio
- modalità con cui trattare il messaggio

- numero di voci possibili = *grado di polifonia*
- voci di strumenti diversi = *grado di politimbrica*

OMNI ON/OFF



ON:
device risponde
a messaggi
di tutti i canali



OFF:
device risponde
a messaggi
singolo canale

POLY/MONO

- device risponde monofonicamente o polifonicamente ai singoli canali MIDI
- MONO: suona una nota singola
- POLY: suona più note (accordi)

4 combinazioni di modi

- “Omni” = OMNI ON + POLY
 - OMNI ON + MONO
 - “Poly” = OMNI OFF + POLY
 - “Multi” = OMNI OFF + MONO
-
- Predisposizione del device sulla consolle, ma anche in modo *dinamico*

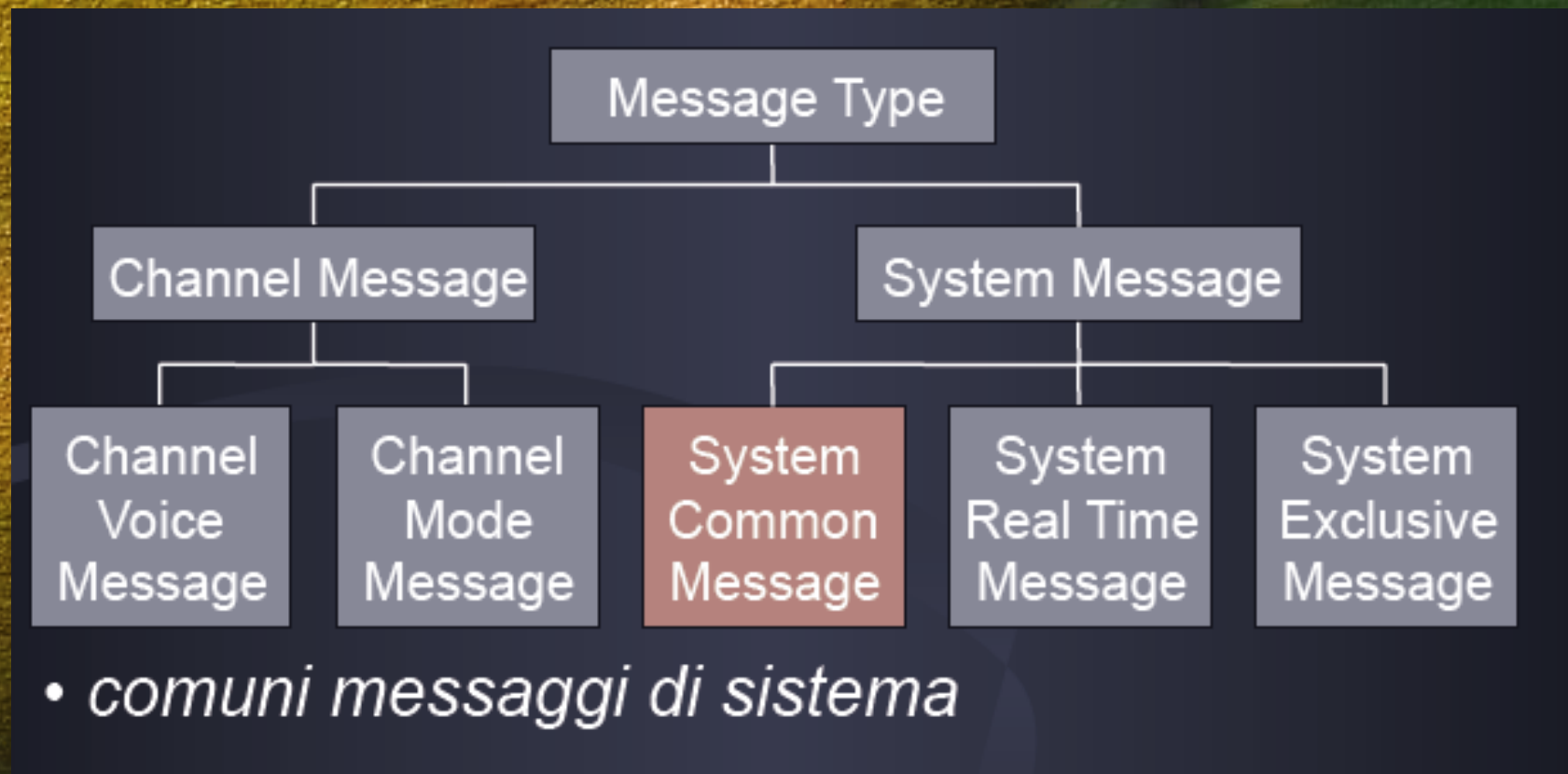
System messages



Messaggi di sistema

- Più device con sequencer interno (memorizzano sequenze di dati MIDI)
- MIDI song memorizzata a pezzi su più device
- Si definiscono master & slave device

System Common Messages

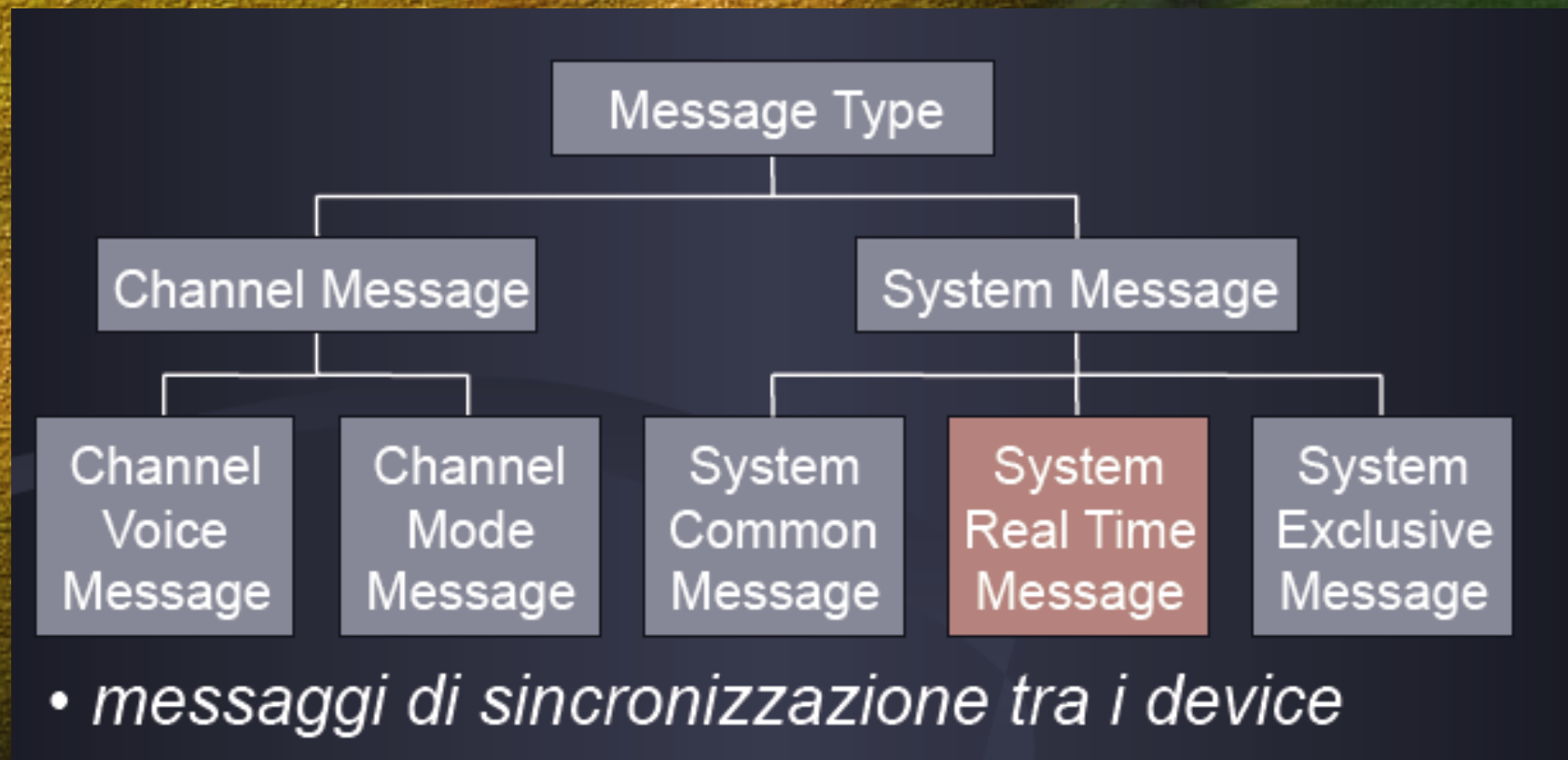


Song Position Pointer

- status byte: 1111 0001
- 2 data byte: 0LLL LLLL 0MMM MMMM
- 14 bit per i beats dall'inizio della song

- Trasmesso a inizio song e a ogni stop
- Slave posizionati al punto specificato

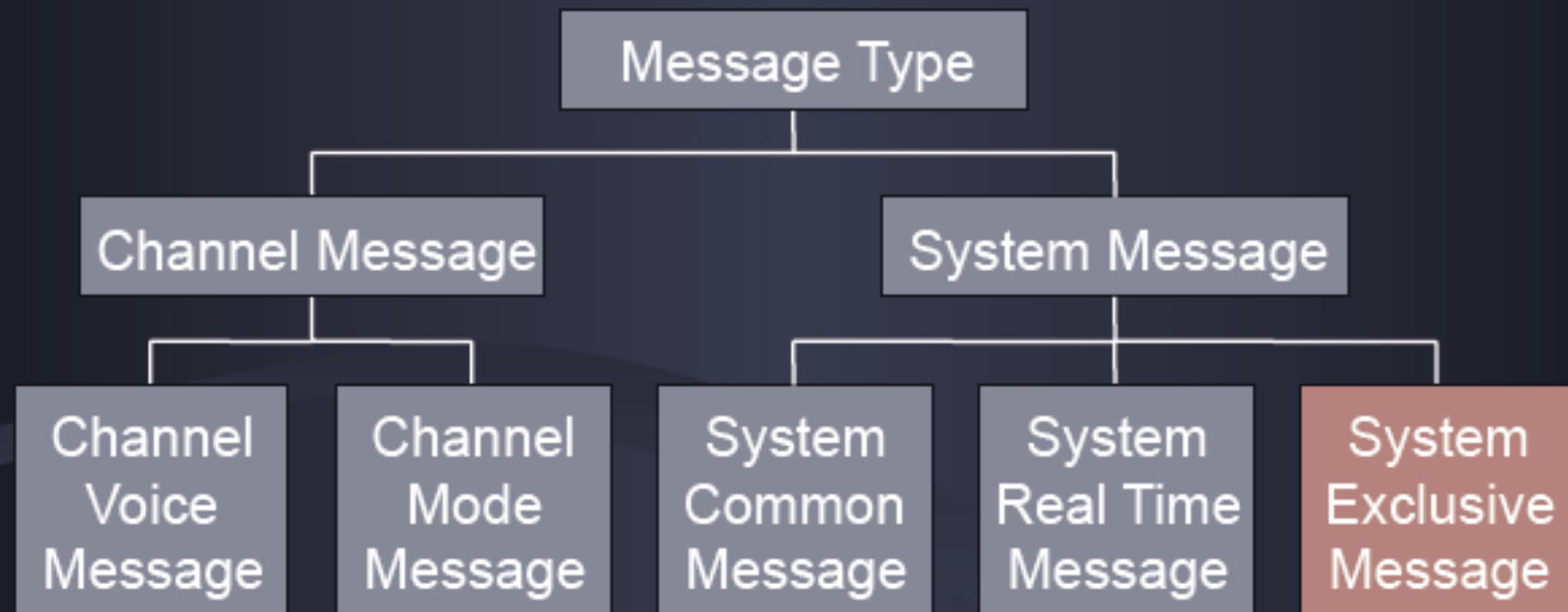
System Real Time Messages



Sincronismo tra i moduli - metronomo -

- Timing Clock: sincronizza l'intero sistema
- Start/Continue/Stop dal master
- Active Sensing: presenza del device
- System Reset

System Exclusive Messages



- *messaggi esclusivi per device speciali*

Messaggi esclusivi dei costruttori

- Espedienti per comunicare qualsiasi cosa
- Per device di particolare costruttore
- Struttura
 - Status byte: 1111 0000
 - ID byte: 0DDD DDDD
 - data bytes: quanti ne occorrono
 - EOX byte: 1111 0111

Standard MIDI File

(SMF)

Standard MIDI File (SMF)

- Nasce nel 1988
- Formato per memorizzare sequenze MIDI
- Riconosciuto da tutti i programmi musicali
- Contiene info necessarie per l'esecuzione

Motivazioni

- Assente nel MIDI il concetto di tempo
- Gestione del tempo affidata a esecutore o sequencer
- Generano messaggi in ben precisi istanti

Esempio



Assunzione:
una semiminima vale 1 sec
(cioè 100 centesimi)

Informazione aggiuntiva dell'
intervallo tra un messaggio e
il successivo: il MIDI file

Messaggio	Bytes	Tempo
NoteOn0 90 4A	30	0
NoteOn1 91 40	30	0
NoteOff1	91 40 00	50
NoteOff0	90 4A 00	75
NoteOn1 91 41	30	100
NoteOff1	91 41 00	150
NoteOn0 90 48	30	150
NoteOff0	90 48 00	175
NoteOn0 90 47	30	200
NoteOn1 91 43	30	200
NoteOff1	91 43 00	225
NoteOff0	90 47 00	250
NoteOn1 91 41	30	250
NoteOff1	91 41 00	275
NoteOn0 90 47	30	300
NoteOn1 91 43	30	
...		

Standard MIDI File

- Formato di memorizzazione e di scambio di brani musicali
- Sequenza di messaggi MIDI intercalati da informazioni sul ritardo di emissione

Struttura di un MIDI file

- Organizzazione in *chunk*
 - due campi iniziali di 4 byte
 - ID = tipo di chunk
 - dimensioni del chunk
 - data byte
- Due tipi di chunk
 - *header chunk* (2 + 6 – formato, # tracce, PPQ, specifiche MTC)
 - *track chunk* (tutte le info di un canale: δ -time e relativo messaggio)

Tre tipi di SMF: Tipo 0 (una sola traccia)

- General Header: identificazione del file, divisione, tempo metronomico, tempo musicale, chiave, ...
- Intestazione di Traccia: dati relativi alla traccia
- Traccia: messaggi MIDI separati da informazioni di temporizzazione

Tipo 1 (più tracce; tempo sulla prima)

- Intestazione generale (General Header) ...
 - Intestazione di Traccia1 (include tempo di tutte le tracce)
 - Traccia 1
 - Intestazione di traccia 2
 - Traccia 2
 - ...
 - Intestazione di traccia 13
 - Traccia 13
- ... fino a 256 tracce

Tipo 2 (più tracce; tempo su tutte)

- Intestazione generale (General Header) ...
 - Intestazione di Traccia1 (include tempo Traccia 1)
 - Traccia 1
 - Intestazione di traccia 2 (include tempo Traccia 2)
 - Traccia 2
 - ...
 - Intestazione di traccia 13 (include tempo Traccia 13)
 - Traccia 13
- ... fino a 256 tracce

Confronto tra audio e MIDI

un musicista suona 4 semiminime
a un tempo di 60 beat/min (4 sec)

Vantaggio del MIDI: basso costo

- Sequencer multitraccia MIDI a 48 tracce: poche decine di dollari e 4000 byte/sec
- Registratore multitraccia a 48 tracce: decine di migliaia di dollari e 4,6 Mb/sec
- Rapporto 1 / 1000 per costo e capacità

Vantaggio della registrazione digitale

- Qualsiasi suono catturato da un microfono (inclusa la voce) VS MIDI musica
- Descrizione sfumature del segnale (modulazioni, ...) VS pochi controlli MIDI
- Portabilità della registrazione VS dipendenza MIDI da sintetizzatore

Limiti del MIDI

- Baud rate 31250 bit/sec, 500 note/sec
- Numero limitato di canali, no indirizzamento dei device, difficoltà a configurare grandi reti MIDI
- Arbitrarietà delle patch (anche General MIDI)
- Uso molto vario, non inteso inizialmente

Conclusioni

- Rivoluzione nel modo di fare musica
- Yamaha DX-7: la prima tastiera MIDI (+ sintesi)
- Turnisti in via di estinzione: il MIDI-fonico
- Musica di consumo
- Esecuzione partiture + patrimonio culturale

Futuro del MIDI: XMidi

- Compatibilità con il MIDI (cavi, messaggi, ...)
- Innovazioni
 - 324 canali VS 16
 - 528 valori lineari (per volume, velocity, ...) VS 128
 - 4374 valori non lineari (program change, ...) VS 128
 - bidirezionalità e modalità ad alta velocità
- Attuale perplessità delle case costruttrici



Grazie dell'attenzione